

# TEMA 11. EL ANABOLISMO.

## 1. Rutas anabólicas comunes.

- Existe un anabolismo exclusivo de seres autótrofos en el que se obtienen moléculas orgánicas sencillas como la glucosa a partir de materia inorgánica.
- Otras rutas anabólicas son comunes a seres autótrofos y heterótrofos. Estas configuran el metabolismo heterótrofo en el que se sintetizan todas las moléculas orgánicas complejas a partir de moléculas orgánicas sencillas.  
Ejem: Síntesis de proteínas, formación de triglicéridos, etc.
- **Gluconeogénesis.**
  - Puede ocurrir en todas las células.
  - Se forma glucosa a partir de compuestos orgánicos como ácido láctico, aas o glicerol (en vegetales también a partir de ácidos grasos).
  - Comienza en la mitocondria y se desarrolla en el citosol.
  - Consume ATP y poder reductor.
- **Glucogenogénesis.**
  - Se sintetiza glucógeno a partir de glucosa para almacenarla.
  - Ocurre en el hígado y en el musculo esquelético.
  - Se lleva a cabo en dos etapas.
    - **Activación de la glucosa** mediante el UTP y formación de uridindifosfato glucosa.
    - El UDP-glucosa **incorpora** moléculas de glucosa al glucógeno en formación.
- **Síntesis de triglicéridos.**
  - El glicerol se obtiene reduciendo dihidroxiacetona procedente de la glucolisis.
  - Los ácidos grasos se forman a partir de moléculas de acetil-CoA que se incorpora a una secuencia cíclica de cuatro reacciones.
  - Finalmente se esterifican tres ácidos grasos con un glicerol.
  - Todo el proceso ocurre en el citoplasma.
- **Anabolismo de proteínas.**
  - Las plantas sintetizan todos los aas. Los animales sólo algunos pro lo que el resto han de incorporarlo con la dieta.
  - Se forman en el citosol.

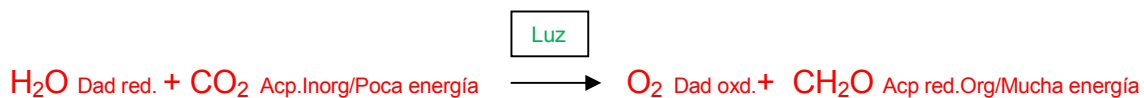
- Su esqueleto carbonado proviene de intermediarios de la glucólisis o el ciclo de Krebs.
- El grupo amino se incorpora mediante transaminación.
- La unión, según el orden indicado en el ADN, forma la proteína.

## 2. Rutas anabólicas autótrofas.

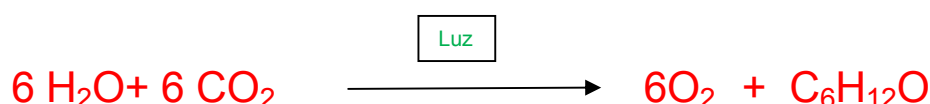
- Son diferentes según la fuente de energía utilizada por el organismo.
- **Fotosintéticos.**
  - Utilizan luz para construir moléculas orgánicas.
  - Realizan la fotosíntesis.
  - Plantas, algas algunas bacterias (anoxigénica) y cianofíceas.
- **Quimiosintéticos.**
  - Transforman la materia inorgánica en orgánica usando la energía liberada en reacciones exergónicas
  - Realizan la quimiosíntesis.
  - Bacterias del nitrógeno, del azufre o del hierro.

## 3. La fotosíntesis.

- La materia inorgánica se reduce hasta materia orgánica utilizando la energía luminosa.
- Requiere un dador y un aceptor de hidrógeno.
- Se distinguen dos tipos:
- **Dador H<sub>2</sub>O/Aceptor CO<sub>2</sub>.**



- El agua actúa cediendo H que reduce al CO<sub>2</sub>.
- Esto hace que se rompa la molécula (fotólisis del agua) y se desprenda O<sub>2</sub> molecular.
- El CH<sub>2</sub>O representa la base de un hidrato de carbono (la sexta parte de una molécula de glucosa).
- Para obtener los productos de la reacción, glucosa y oxígeno molecular, la reacción global se ajusta del siguiente modo.



- Otros dadores y aceptores.
- En algunas bacterias los dadores de H son el ácido láctico o el ácido sulfhídrico.
- Como no interviene el agua no se libera oxígeno.
- Este tipo de fotosíntesis se denomina anoxigénica.
- Normalmente el aceptor de H es el  $\text{CO}_2$  pero algunas plantas y bacterias pueden utilizar nitrato o sulfato.
- La fotosíntesis es el **proceso más importante** que ocurre en la biosfera pues es responsable de:
  - El cambio que se produjo en la atmósfera primitiva.
  - La síntesis de materia orgánica.
  - Energía almacenada en los combustibles fósiles.
  - La liberación de  $\text{O}_2$  a la atmósfera (respiración aerobia).
  - La retirada del  $\text{CO}_2$  causante del efecto invernadero.

#### 4. La fotosíntesis oxigénica.

- Se realiza en dos fases. Esquema página 193.
- **Fase luminosa.**
  - Requiere la **presencia de luz**.
  - Ocurre en la **membrana tilacoidal** donde se sitúan la cadena transportadora de electrones, los fotosistemas y la ATPasacoloroplastídica.
  - Los pigmentos captan la luz y la transforman en energía química.
  - Se **genera ATP y NADPH,  $\text{H}^+$** .
  - Se produce la **fotólisis del agua** y la **liberación de  $\text{O}_2$** .
- **Fase oscura.**
  - No depende de la luz (**con o sin ella**).
  - Se lleva a cabo en el **estroma**.
  - El  **$\text{CO}_2$  se reduce** para obtener glucosa mediante el **ciclo de Calvin**.
  - Se **utiliza** la energía producida en la fase luminosa, **el ATP y el NADPH,  $\text{H}^+$** .

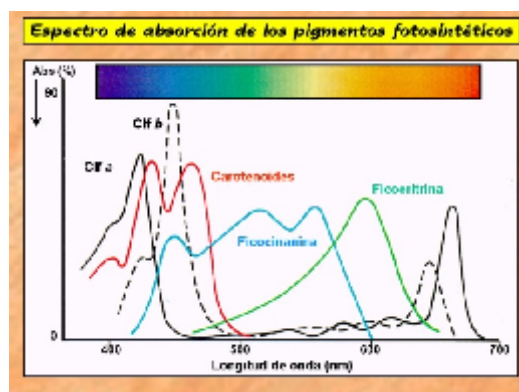
#### 5. La fase luminosa.

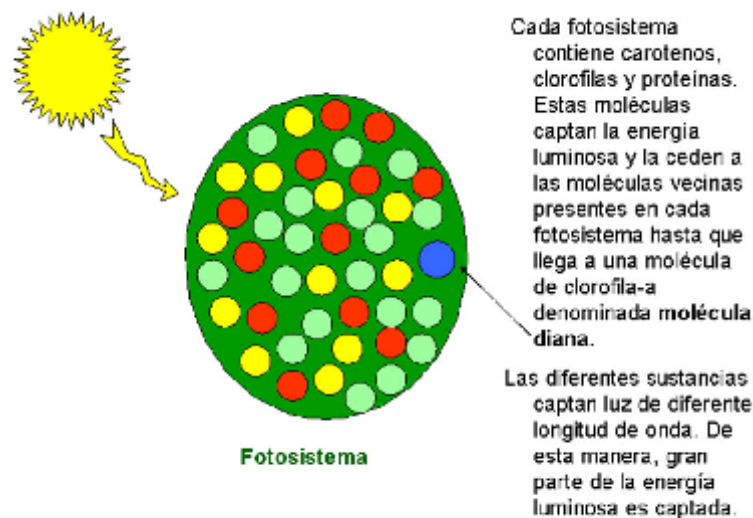
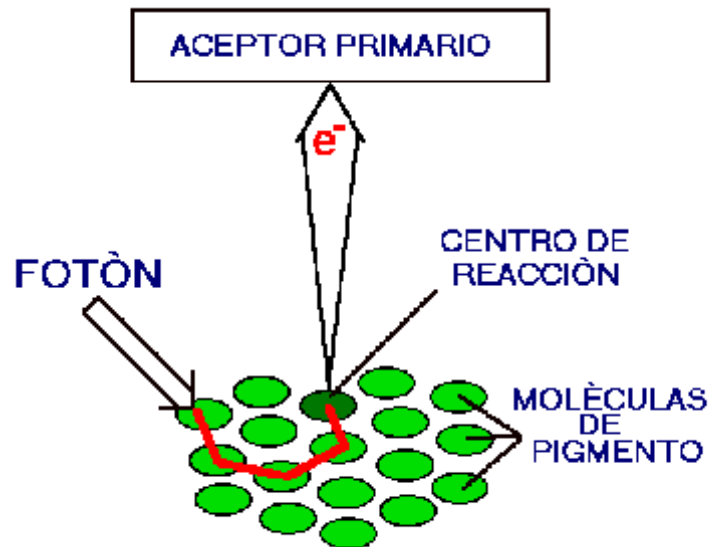
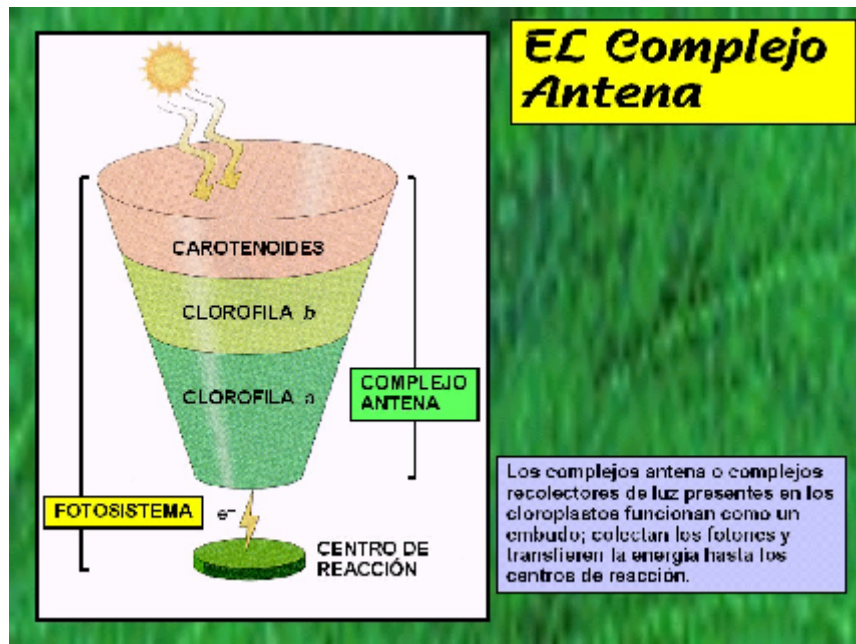
- Se llevan a cabo los siguientes procesos:
  - **Captación de luz.**

- Transporte no cíclico de electrones.
  - Reducción del  $\text{NADP}^+$ .
  - Fotólisis del agua.
- Fotofosforilación.
- En las bacterias con fotosíntesis anoxigénica, y en la normal cuando escasea el  $\text{NADP}^+$ , se produce un transporte cíclico de electrones.

### 5.1. La captación de la luz.

- La luz utilizada en la fotosíntesis corresponde al espectro visible, con longitud de onda que va desde 360 hasta 720 nm.
- Esta es captada por los pigmentos fotosintéticos que absorben la energía de los fotones de la luz.
- Esta energía excita sus electrones que pasan a niveles energéticos más elevados lo que hace que el pigmento se vuelva más reactivo.
- Los principales pigmentos son:
  - Clorofilas a y b.
  - Carotenos y xantofilas.
  - Ficobilinas que solo aparecen en las algas.
- Se agrupan en la membrana tilacoidal formando fotosistemas. Un fotosistema se compone por:
  - Pigmentos antena.
    - Gran variedad.
    - Moléculas colectoras de luz.
  - Centro de reacción.
    - Clorofila diana. Una clorofila unida a una proteína específica que recibe toda la energía absorbida por los pigmentos antena y puede ceder un electrón.
    - Aceptor de electrones.
    - Dador de electrones.

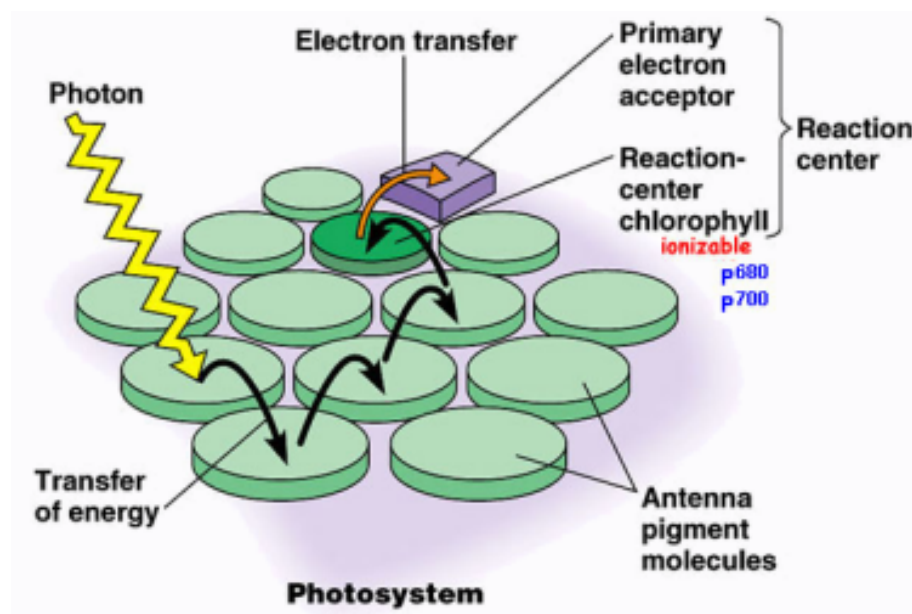


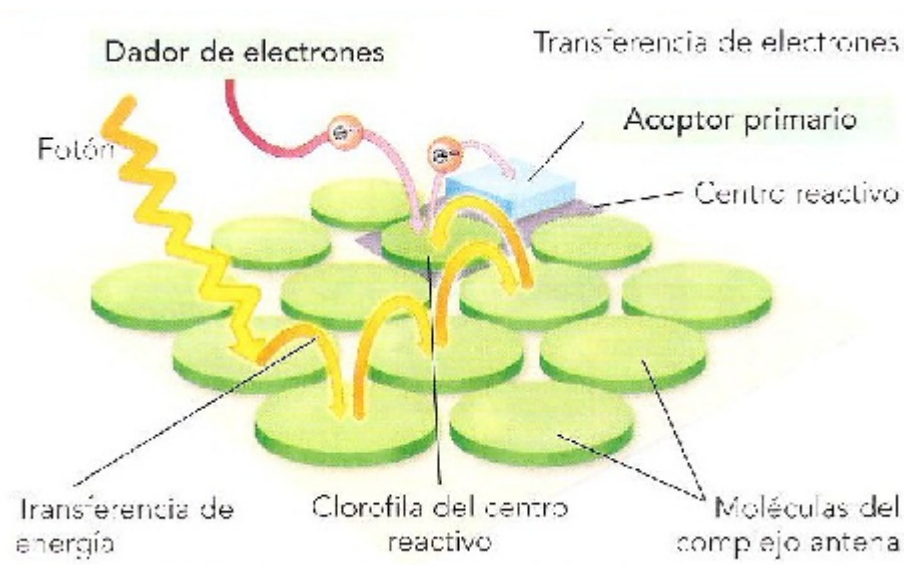


- En las células fotosintéticas hay dos fotosistemas:
  - **Fotosistema I / PS I.**
    - También llamado **P700** pues presenta máxima absorción de luz a 700 nm.
    - La clorofila del **CR** es el **P<sub>700</sub>**.
  - **Fotosistema II / PS II.**
    - Llamado **P680** por tener mayor actividad a esta longitud de onda.
    - Su clorofila del **CR** es el **P<sub>680</sub>**.

### ¿Cómo funciona el fotosistema?

- Cuando un fotón incide sobre un pigmento antena este se excita y un electrón pasa a un orbital más alejado (nivel energético superior).
- La energía se va transmitiendo del pigmento que absorbe luz con menor longitud de onda (mayor contenido energético) hasta el que absorbe la de mayor (menor cantidad de energía).
- La clorofila del CR es la que absorbe la mayor longitud de onda por tanto recibirá la energía captada por cualquier otro pigmento de los que forman la antena.
- La clorofila excitada vuelve a su estado inicial cediendo un electrón a un aceptor de la cadena fotosintética y recuperándolo, en el nivel adecuado, a partir de un donador electrónico asociado al fotosistema.





## 5.2. El transporte no cíclico de electrones.

- Tiene lugar desde el  $H_2O$  hasta el  $NADP^+$  a través de la cadena fotosintética.
- Esta se forma de una serie de moléculas que aceptan y ceden electrones consecutivamente permitiendo que estos viajen desde los compuestos de menor estado energético a los de mayor.
- El transporte por tanto no es espontáneo y requiere la energía luminosa que captan los pigmentos de los fotosistemas los cuales están integrados en la cadena.
- La energía luminosa aumenta el estado energético de los electrones del  $H_2O$  que llegarán hasta el  $NADP^+$ , el cual se reduce hasta  $NADPH$ ,  $H^+$ .
- Recordemos que el transporte sería espontáneo en sentido inverso desde el  $NADPH$  hasta el  $O_2$  y no al contrario como ocurre aquí por eso es necesaria la activación.
- La molécula de  $H_2O$  se rompe en un proceso denominado fotólisis del agua y cede sus electrones a la cadena fotosintética.
- El resultado es que el  $O_2$  se desprende como producto residual.
- El transporte se divide en tres segmentos que se representan mediante el esquema en Z.

### ○ Primer segmento. Reducción del $NADP^+$ .

- Un fotón incide en el PS I.
- Una de sus moléculas se excita.
- Se transmite la energía hasta el CR.
- La clorofila cede un electrón a la ferredoxina.
- Esta lo conduce hasta el  $NADP^+$  reduciéndolo a  $NADPH$ .



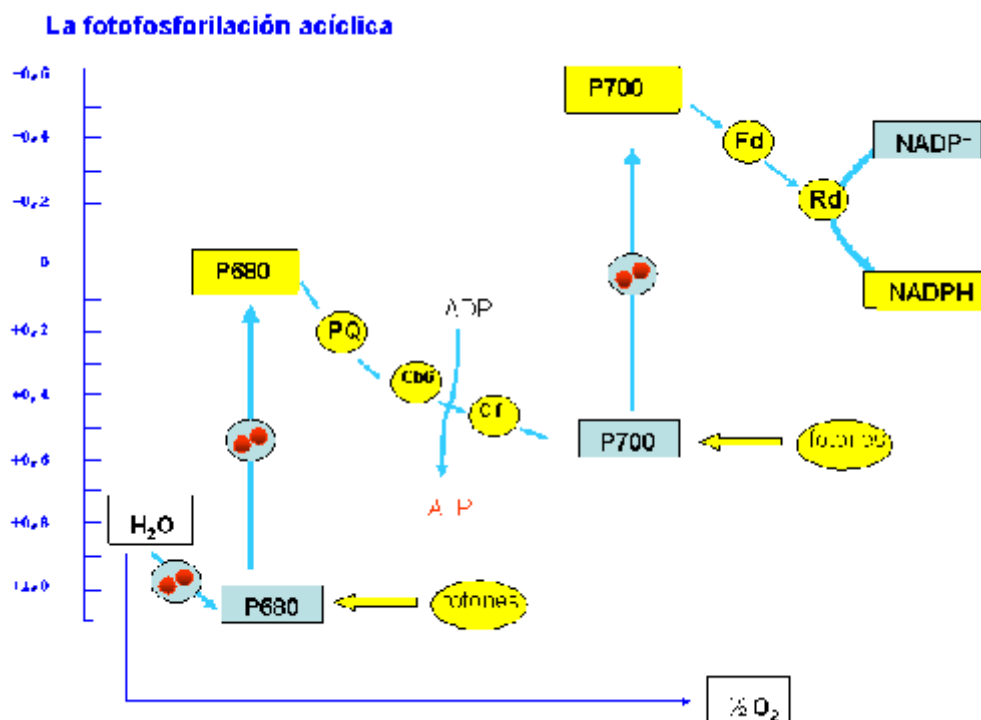
- La clorofila queda excitada y dispuesta a recuperar el electrón cedido.

○ Segundo segmento. Recuperación del electrón cedido por el PS I.

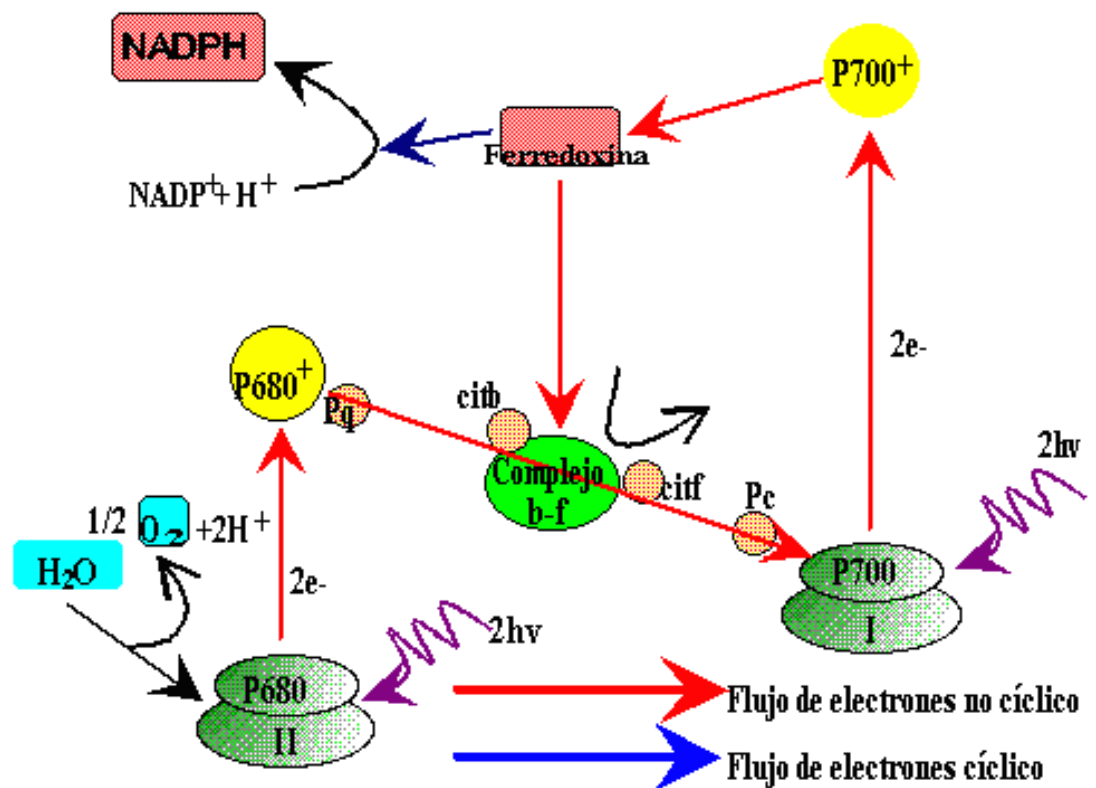
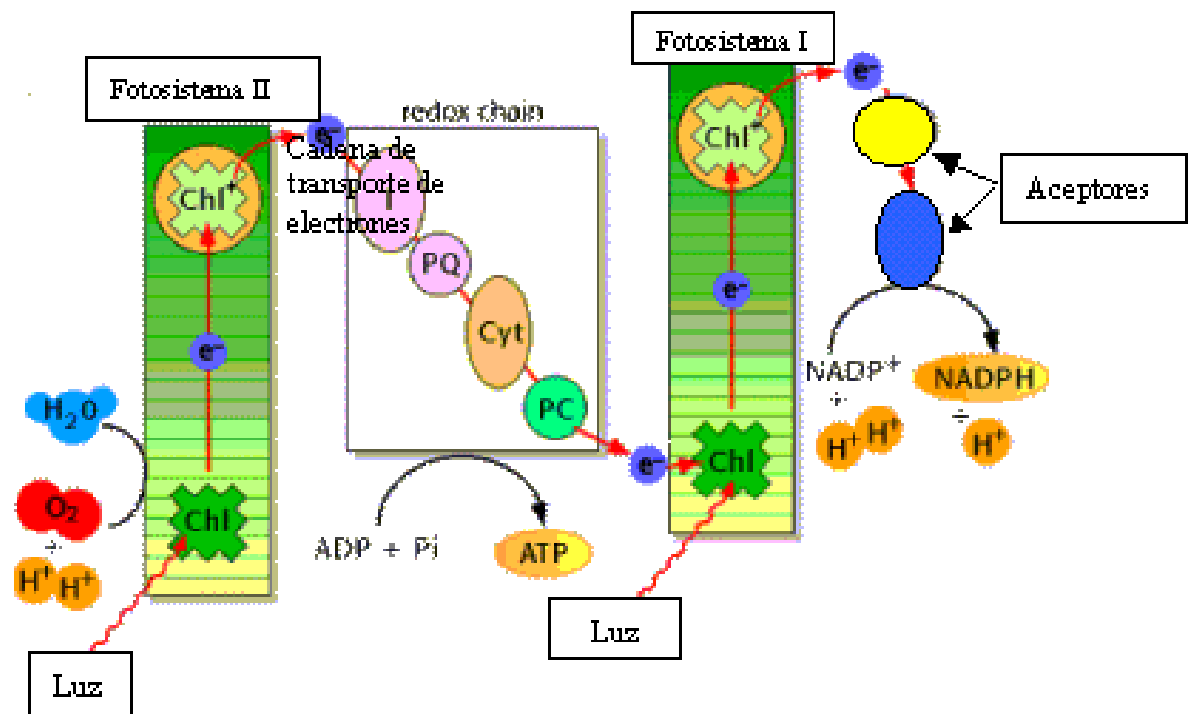
- Un fotón incide en el PS II.
- Los pigmentos se excitan y transmiten la energía al CR.
- La clorofila cede un electrón a la cadena transportadora que lo lleva hasta la clorofila del PS I.
- La cadena se forma por plastoquinona, citocromo bf y plastocianina.

○ Tercer segmento. Recuperación del electrón cedido por el PS II y fotólisis del agua.

- La rotura del agua libera:
  - Electrones que se ceden al PS II.
  - Protones  $H^+$  que se liberan al espacio intratilacoide.
  - $O_2$  que se emite a la atmósfera.

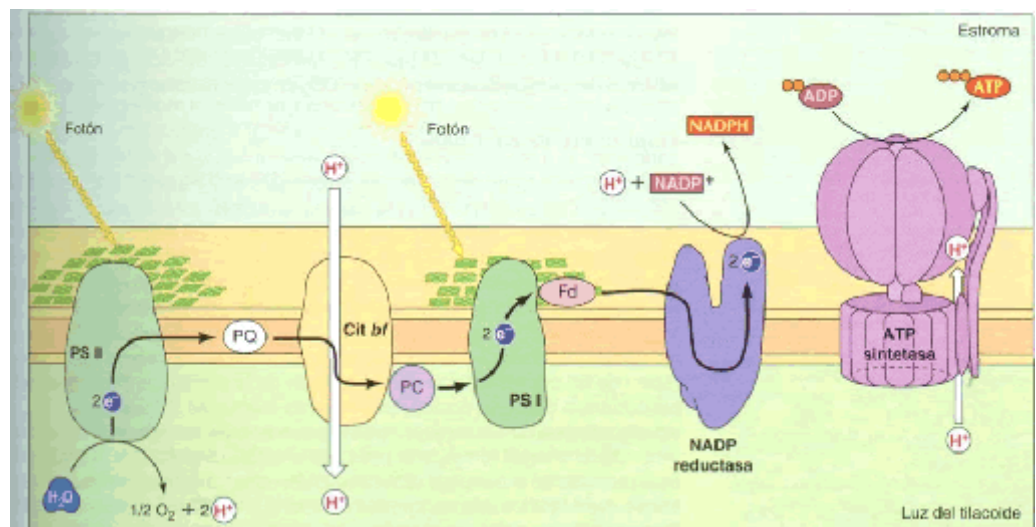






### 5.3. La fotofosforilación.

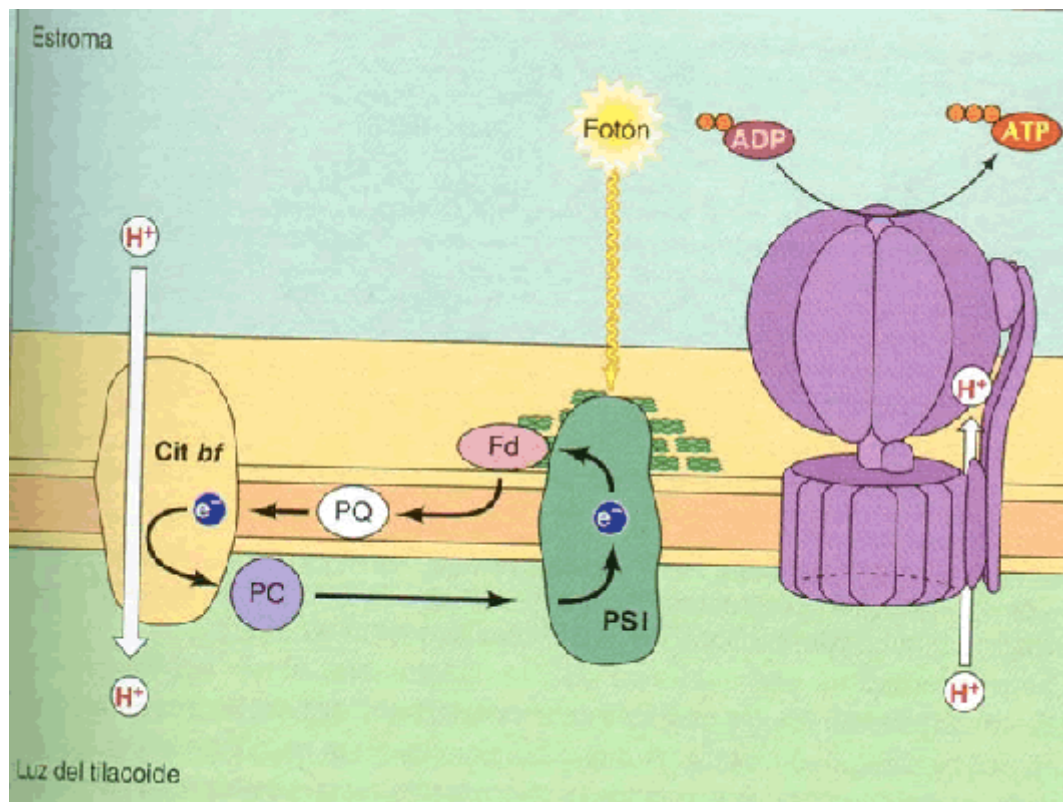
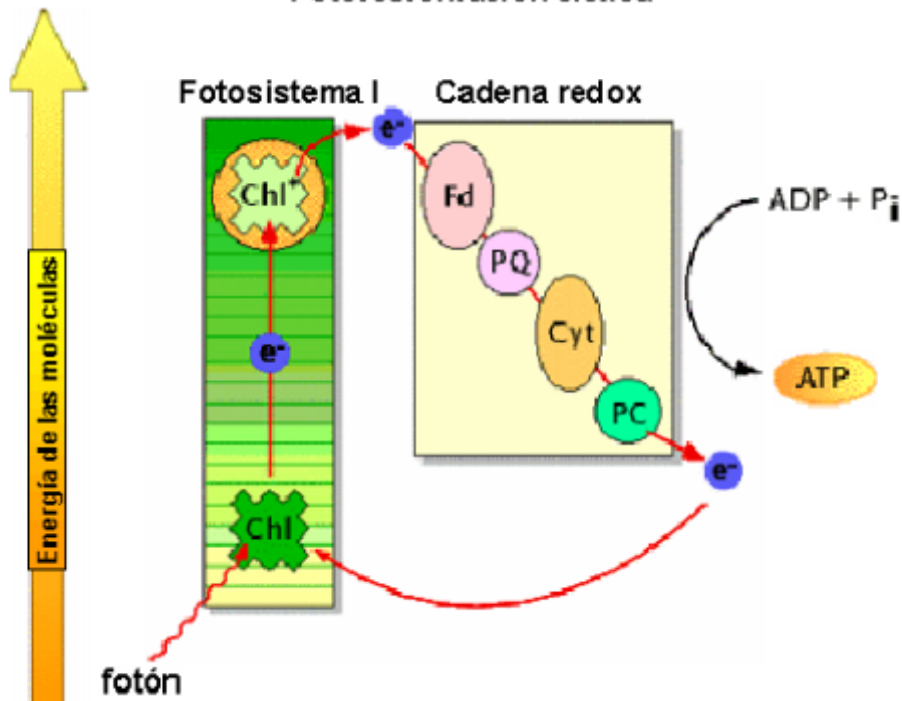
- Es la síntesis de ATP que se realiza de forma semejante al que ocurre en la membrana mitocondrial.
- Se suceden los siguientes **acontecimientos**:
  - El transporte de electrones hasta el  $\text{NADP}^+$  libera protones hasta el espacio intratilacoidal.
  - Transportando dos electrones se liberan cuatro protones:
    - Dos son translocados desde el estroma a través del cit-bf.
    - Dos proceden de la fotólisis del agua.
  - La acumulación de protones genera un transporte a favor de gradiente.
  - Al ser impermeable la membrana tilacoidal los  $\text{H}^+$  solo la cruzan a través de la ATPasa.
  - El flujo de protones permite la síntesis de ATP.
  - Por cada tres  $\text{H}^+$  que entran se forma una molécula de ATP.

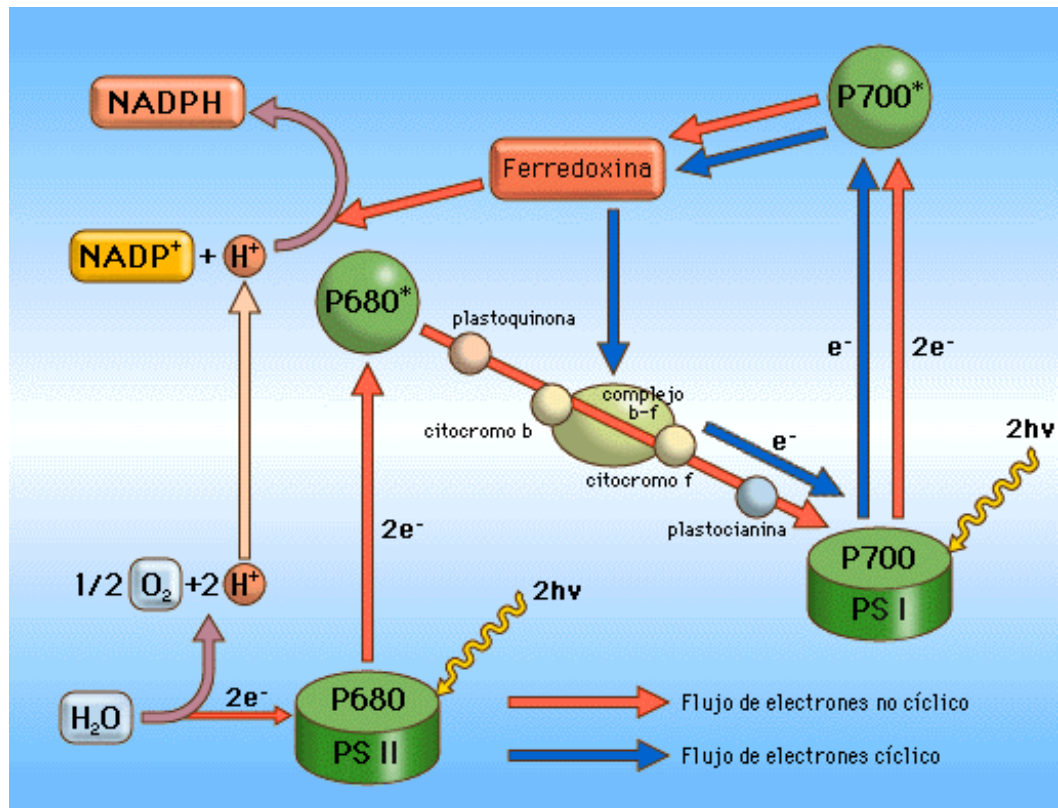


### 5.4. El transporte cíclico.

- Es una vía alternativa en la que un electrón del PS I es activado por la luz pero en lugar de llegar al  $\text{NADP}^+$  vuelve al PS I.
- En su recorrido es cedido al cit-bf que transporta  $\text{H}^+$  al espacio intratilacoidal.
- La acumulación de  $\text{H}^+$  provoca el regreso de estos al estroma a favor de gradiente pero a través de la ATP sintetasa que utiliza la energía del flujo de protones para fabricar ATP.

## Fotofosforilación cíclica

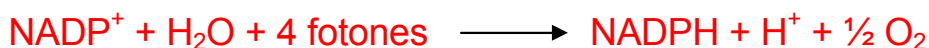




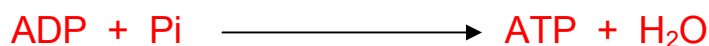
- Presenta las siguientes **características**:
  - Sólo participa el PS I.
  - No produce NADPH.
  - No hay fotólisis del agua por lo que no desprende  $O_2$ .
  - Se sintetiza ATP por la traslocación de  $H^+$  a partir del cit-bf.

### 5.5. Reacción global.

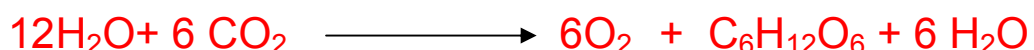
- La reacción por molécula de agua es:



- Se sintetiza una molécula de ATP por cada dos electrones transportados.

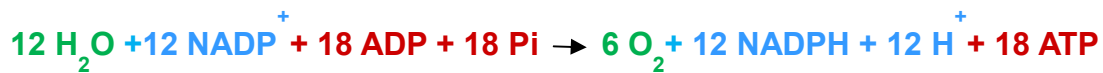


- Para liberar seis moléculas de  $O_2$  en la reacción global de la fotosíntesis deben intervenir 12 de  $H_2O$  por lo que se ajusta de la siguiente forma (los 12 H sobrantes se unen con los 6 O que sobran del  $CO_2$  y se obtienen 6  $H_2O$  como producto).



- La fotofosforilación cíclica y la acíclica se combinan para ajustar la producción de ATP y NADPH a las necesidades de la fase oscura.

- En ella se requieren 3 ATP por cada 2 NADPH. Por tanto, cada vez que ocurran dos fotofosforilaciones acíclicas, tendrá lugar una cíclica.
- Al final de la fase lumínica tanto el ATP como el NADPH,  $H^+$  se encuentran en el estroma del cloroplasto.
- Ambas moléculas serán utilizadas para la reducción del  $CO_2$  en la fase oscura de la fotosíntesis.
- La ecuación global sería:



- Aparecen 24 protones y se transportan 24 electrones. Como cada electrón requiere gastar dos fotones, uno en cada fotosistema, necesitamos 48 fotones.
- Por otra parte gastamos 6 fotones más en la fotofosforilación cíclica por lo que el **gasto energético completo es de 54 fotones**.

## 6. La fase oscura.

- Es la síntesis de moléculas orgánicas sencillas por reducción de moléculas inorgánicas.
- Se utiliza el ATP y el NADPH sintetizados en la fase luminosa.
- Ocurre en el estroma y se produce tanto en ausencia como en presencia de luz aunque algunos de sus enzimas están regulados por la energía luminosa.
- El principal sustrato es el  $CO_2$  que se reduce hasta monosacáridos sencillos mediante el **ciclo de Calvin**.
- Este ciclo se divide en tres fases:

### ○ Fijación del $CO_2$ .

- Se une a una molécula de 5 C, la ribulosa 1-5-difosfato.
- Se forma un compuesto de 6 C muy inestable que se rompe en dos moléculas de ácido 3 fosfoglicérico.
- La reacción está catalizada por la enzima rubisco (ribulosa 1-5-difosfato carboxilasa) que es el más abundante de la naturaleza.
- Así el  $CO_2$  inorgánico forma un enlace rico en energía en una molécula orgánica.



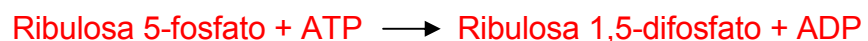
### ○ Reducción.

- El ácido 3-fosfoglicérico es fosforilado hasta 1,3-difosfoglicerato consumiendo ATP.
- Este se reduce hasta gliceraldehído 3-fosfato (G3P) liberando  $\text{P}_i$  y consumiendo NADPH.

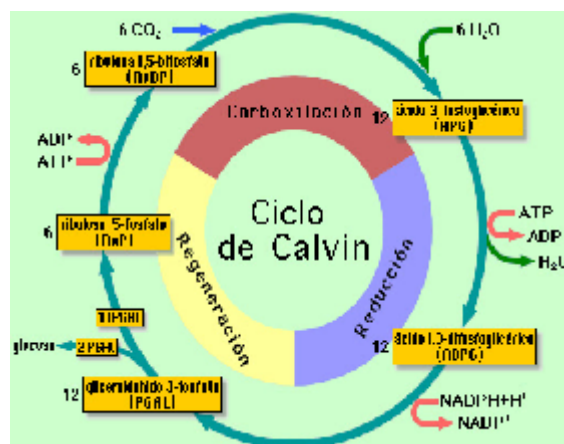


### ○ Formación de glucosa y regeneración.

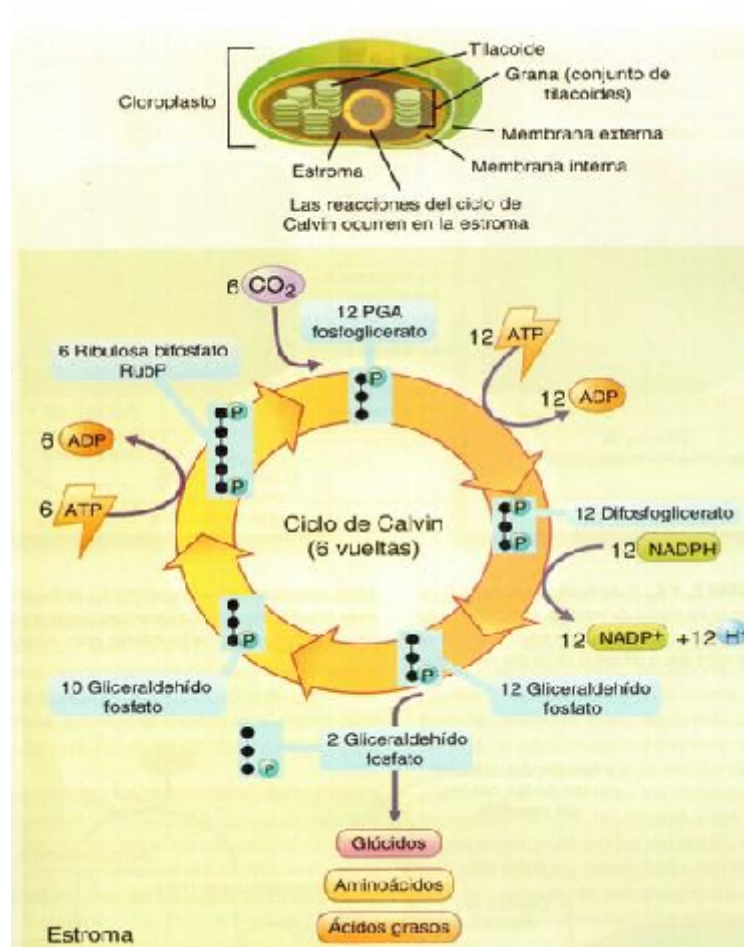
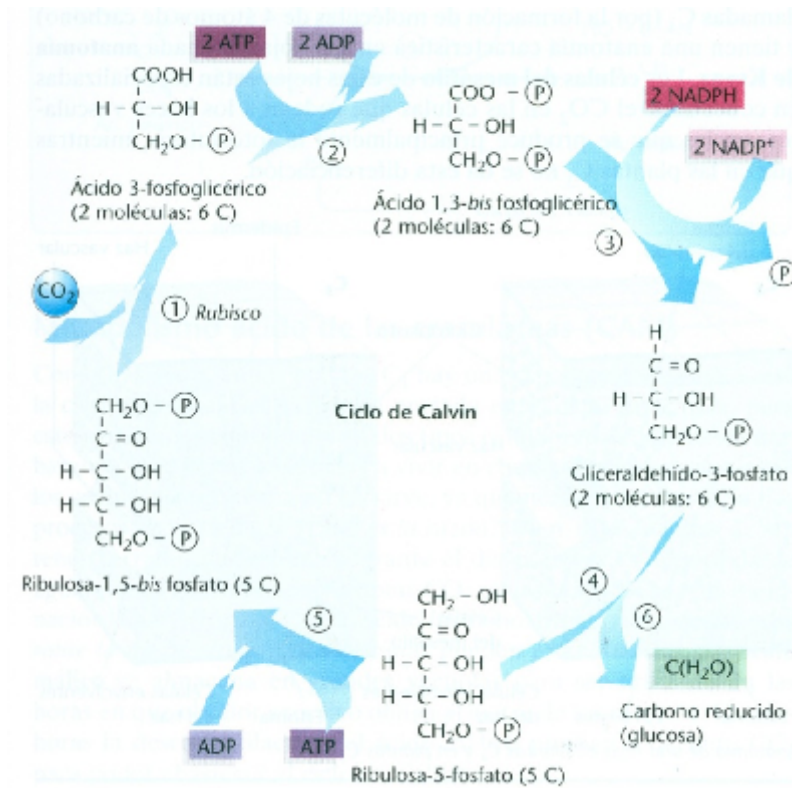
- Por cada doce moléculas de G3P (36 C en total) dos se utilizan para generar una de glucosa.
- Las diez restantes (30 C) se utilizan para restablecer el ciclo.
- Esto ocurre mediante un proceso muy complejo donde se forman moléculas de 4, 5, 6 y 7 C hasta obtener 6 ribulosa 5-fosfato.
- Estas se fosforilan consumiendo 6 ATP y produciendo 6 ribulosa 1,5-difosfato.



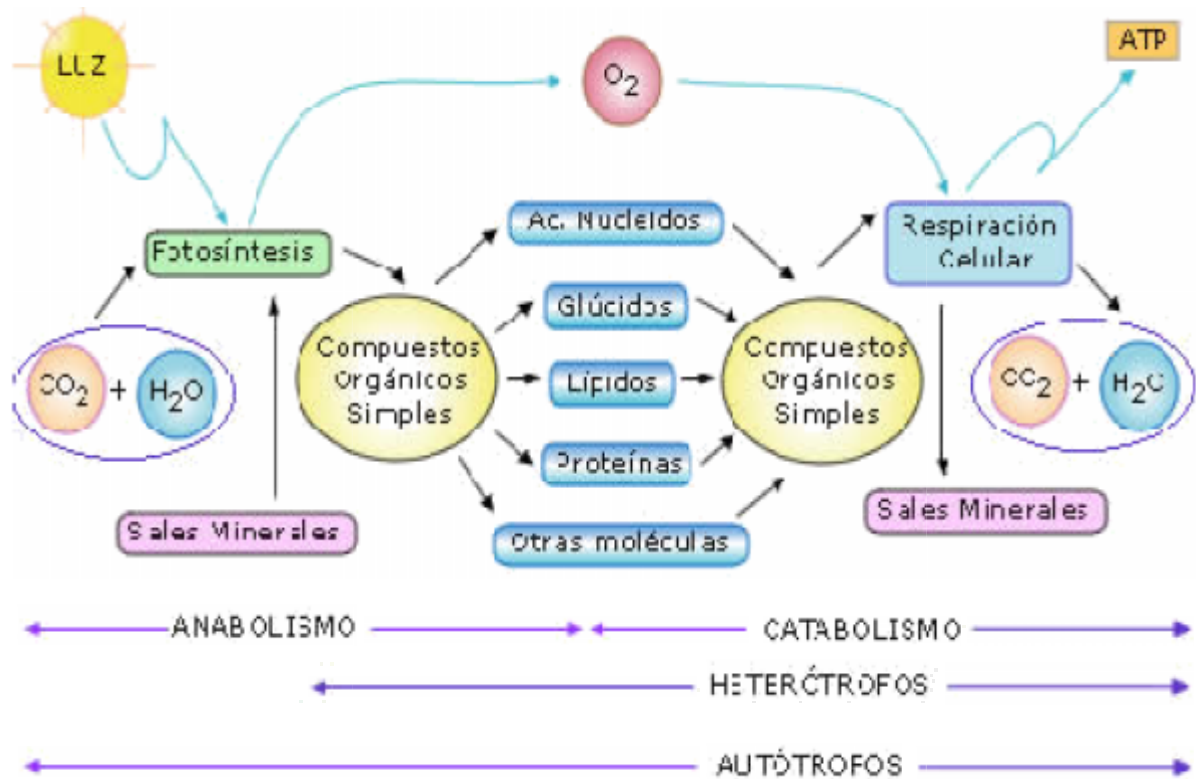
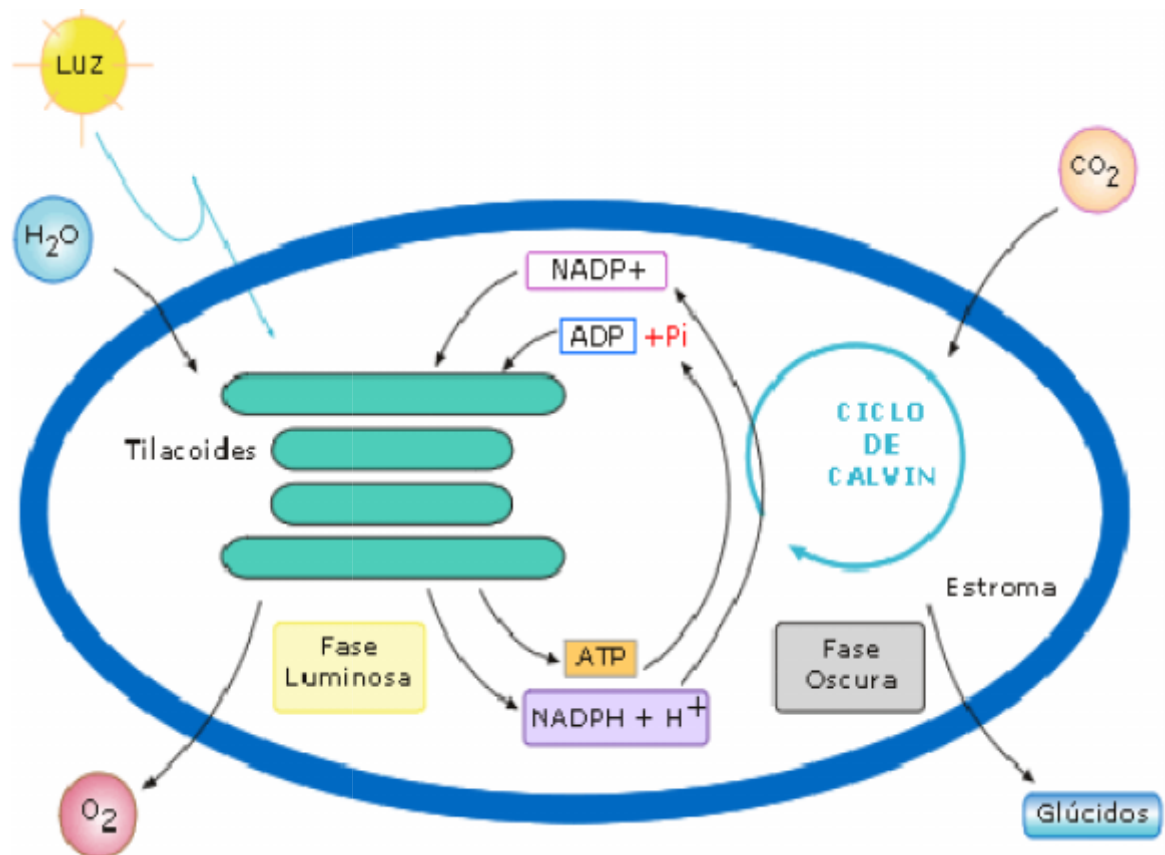
- Por cada vuelta del ciclo se reduce una molécula de  $\text{CO}_2$  por tanto se requieren tres vueltas por G3P que es el producto reducido saliente.
- Tal producto es la base para sintetizar azúcares, ácidos grasos y aas.
- Para formar una glucosa necesitamos dos G3P y por tanto son necesarias seis vueltas.
- Multiplicando por seis las ecuaciones anteriores obtendremos el balance global del ciclo.









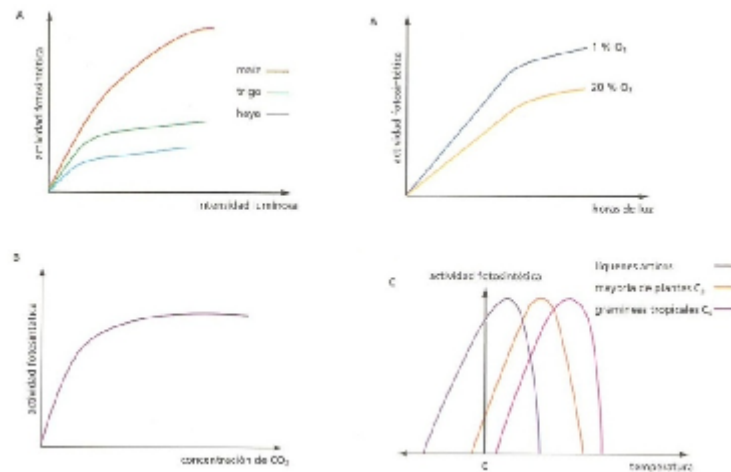


## 7. Factores que influyen en la fotosíntesis.

- El rendimiento fotosintético puede medirse en función del  $\text{CO}_2$  absorbido o del  $\text{O}_2$  desprendido.
- Tal rendimiento depende de los siguientes factores:

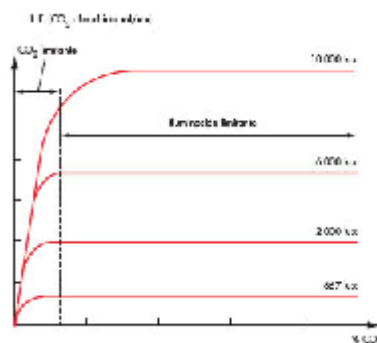
### 7.1. Concentración de $\text{CO}_2$ .

- La velocidad de la fotosíntesis aumenta con este parámetro hasta un punto en el que se hace constante.



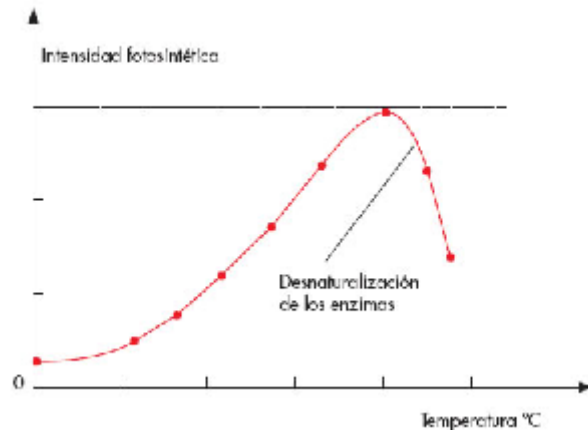
### 7.2. Intensidad de iluminación.

- Su aumento provoca mayor velocidad en la fotosíntesis hasta alcanzar un valor en el cual la cantidad de  $\text{CO}_2$  se hace limitante y el proceso no puede rendir más.
- Una planta en tal estado se encuentra lumínicamente saturada.
- Cuando la iluminación es muy baja el  $\text{O}_2$  que se desprende en la fotosíntesis es compensado, o incluso superado, por el consumido en la respiración.
- La siguiente gráfica muestra simultáneamente la influencia ambos factores.



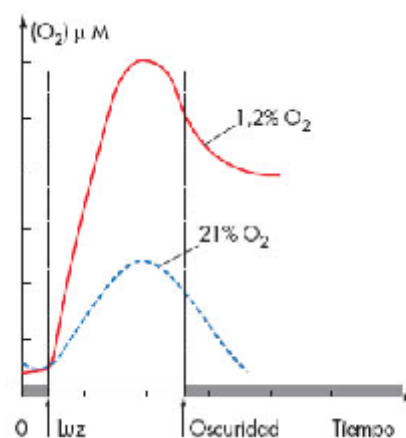
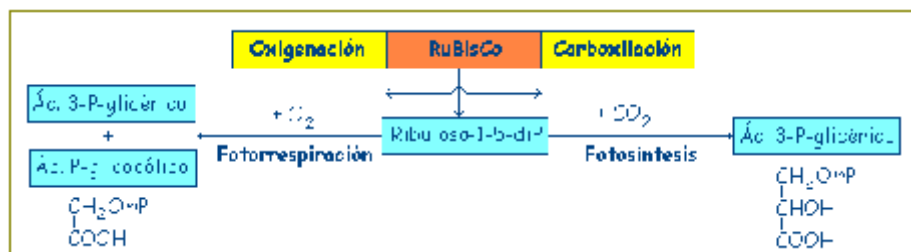
### 7.3. La temperatura.

- Las reacciones de la fase luminosa son independientes de la temperatura.
- En la fase oscura actúan enzimas que aumentan su actividad con la temperatura hasta alcanzar un valor en que comienzan a desnaturalizarse.
- Cada especie tiene una temperatura de rendimiento óptimo.



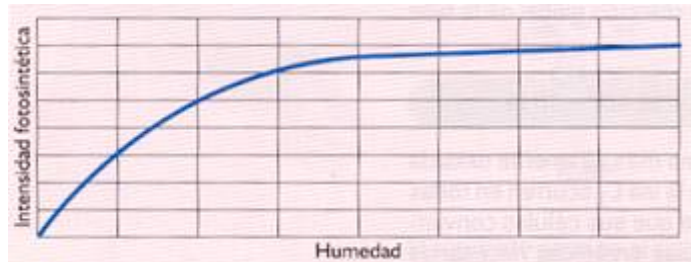
### 7.4. La concentración de O<sub>2</sub>.

- El rendimiento fotosintético disminuye al aumentar este factor pues el O<sub>2</sub> actúa como un inhibidor competitivo del enzima rubisco en la reacción de fijación del CO<sub>2</sub>.
- En días soleados cálidos y secos la hoja cierra los estomas y el O<sub>2</sub> se acumula en su interior produciéndose una reacción, llamada fotorrespiración, que elimina intermediarios del ciclo del Calvin reduciendo su eficacia hasta en un 50%.



### 7.5. La humedad.

- El rendimiento de la fotosíntesis disminuye al hacerle el grado de humedad pues en ambientes secos se cierran los estomas y se reduce el intercambio de gases.

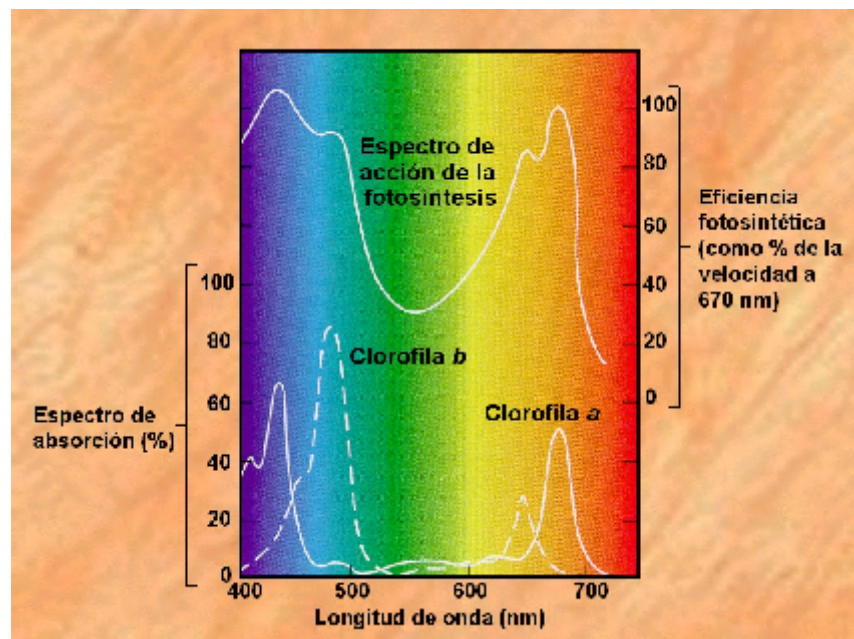


### 7.6. El fotoperiodo.

- Es el número de horas de luz al cabo del día y su influencia depende del tipo de planta aunque en general el rendimiento aumenta con este factor.

### 7.7. El tipo de luz.

- La actividad fotosintética es máxima con luz roja o azul pues en tales zonas del espectro se encuentran los picos de absorción de las clorofilas a y b.
- Si iluminamos sólo con luz roja por encima de 680 nm no podrá funcionar el PS II y la eficiencia será mínima.



## 8. La quimiosíntesis.

- Proceso anabólico autótrofo en el que se sintetizan compuestos orgánicos a partir de otros inorgánicos y utilizando la energía liberada en la oxidación de moléculas inorgánicas sencillas.
- Se distinguen dos fases de forma análoga a la fotosíntesis
  - **Primera fase.**
    - Oxidación de compuestos sencillos como  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$ , o  $\text{H}_2\text{S}$ .
    - Liberación de energía, electrones y protones.
    - Síntesis de ATP.
    - Formación de NADH.
    - Equivalente a la fase luminosa.
  - **Segunda fase.**
    - Reducción de compuestos inorgánicos como  $\text{CO}_2$  o  $\text{NO}_3^-$ .
    - Obtención de compuestos orgánicos.



- Los seres quimiosintéticos se denominan quimioautótrofos y son bacterias, casi todas aerobias.
- Su papel en el ciclo de la materia es fundamental.
- Se distinguen varios grupos.

### 8.1. Bacterias del nitrógeno.

- Viven en el suelo y en el agua.
- Oxidan el amoníaco procedente de la descomposición de la materia orgánica a nitratos en un proceso llamado nitrificación.
- Los nitratos son absorbidos por las plantas que pueden reducirlo para sintetizar compuestos orgánicos nitrogenados como bases y aas.
- La oxidación se realiza en dos etapas:

- **Nitritación.**

- Es la oxidación del amoníaco hasta nitrito.



- Realizan este proceso las bacterias nitrosificantes del género *Nitrosomonas*.

- **Nitratación.**

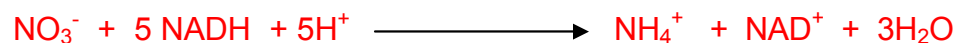
- Oxidación del nitrito hasta nitrato:



- Realizada por las bacterias nitrificantes del género *Nitrobacter*.

- Las plantas realizan la llamada fotosíntesis del nitrógeno que permite incorporar este elemento a las cadenas tróficas. Esto ocurre en dos fases:

- **Reducción del  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NH}_4^+$ .**



- **Incorporación del  $\text{NH}_4^+$  a cetoácidos para formar aas.**



## 8.2. Bacterias del azufre.

- Son bacterias incoloras que viven en aguas residuales, fuentes hidrotermales y ambientes ricos en azufre.
- Utilizan como sustrato azufre y sulfuro de hidrógeno.



- Son muy interesantes las bacterias que viven en los humeros de las dorsales oceánicas.
- Los humeros son fuentes termales oceánicas que liberan agua que previamente se ha infiltrado hasta profundidades de unos 5 km, en zonas muy fracturadas y de elevada temperatura.

- El agua liberada es muy rica en metales y otros compuestos (Fe, Zn, Mn, H<sub>2</sub>S, etc). Estas zonas, a 2600 metros de profundidad, son un oasis de vida (gusanos, moluscos, crustáceos, etc) en el interminable desierto de los fondos oceánicos. Los productores de estos ecosistemas son bacterias que oxidan SH<sub>2</sub>
- Una de las especies dominantes en estos ecosistemas es el gusano gigante (de hasta 1 metro de longitud) *Riftia pachyphila* que carece de boca y tubo digestivo.
- Presenta un penacho branquial por el que absorbe agua con CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, O<sub>2</sub>, y un gran órgano llamado trofosoma cuyas células contienen bacterias oxidantes del H<sub>2</sub>S.
- Se trata de una endosimbiosis en la que gusano proporciona la materia prima y las bacterias las moléculas orgánicas.
- De forma parecida, estas bacterias viven en las branquias de las almejas y mejillones de la zona. Otras especies se alimentan por filtración de las partículas del medio, de las bacterias que hay en el agua o comiéndose a las especies anteriores.
- Así estas bacterias sostienen toda una red trófica mediante quimiosíntesis.

### 8.3. Bacterias del hierro.

- Viven en aguas procedentes de vertidos mineros donde oxidan sales ferrosas formando sales férricas.
- Son muy abundantes en el río Tinto.

